

Wrocław, 02.03.2026

Dr hab. inż. **Magdalena Kobielarz**, prof. uczelni
Politechnika Wroclawska
Wydział Mechaniczny
magdalena.kobielarz@pwr.edu.pl

RECENZJA

pracy doktorskiej

mgr inż. ANITY GRYKO

„Numeryczno-eksperymentalna optymalizacja architektury skaffoldów do zastosowań ortopedycznych”

Promotor: dr hab. inż. **Eugeniusz Sajewicz**Promotor pomocniczy: dr inż. **Piotr Prochor**

Praca doktorska reprezentuje dyscyplinę inżynieria biomedyczna

Podstawa opracowania recenzji: uchwała nr 74/2024-2028 z dnia 26.11.2025 r. Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej, podpisana przez Przewodniczącego Rady Naukowej, prof. dra hab. inż. Romualda Mosdorfa.

Przedmiot i cel pracy doktorskiej

Przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest opracowanie i weryfikacja metody projektowania oraz optymalizacji architektury metalicznych skaffoldów przeznaczonych do zastosowań ortopedycznych, w szczególności do rekonstrukcji krytycznych segmentowych ubytków kości długich (CSBD). W ramach pracy, z wykorzystaniem analiz numerycznych, przeanalizowano wpływ parametrów mikroarchitektury skaffoldów, w szczególności porowatości oraz geometrii i wielkości porów, na ich efektywne parametry mechaniczne (w szczególności efektywny moduł Younga (EYM) oraz 0,2% przesuniętą efektywną granicę plastyczności (0,2% OEYS)). Następnie opracowano autorski algorytm optymalizacji generujący projekt heterogenicznego skaffoldu o przestrzennie zróżnicowanej mikroarchitekturze, ukierunkowany na lokalne dostosowanie sztywności do przewidywanych kierunków obciążenia. Poprawność i przydatność zaproponowanego podejścia zweryfikowano zarówno w modelach numerycznych, jak i w badaniach doświadczalnych obejmujących digitalizację geometrii, wytworzenie skaffoldów oraz pomiar odkształceń systemem wizyjnym ARAMIS. Tak zdefiniowany zakres prac stanowi odpowiedź na trzy zasadnicze problemy wskazane przez Doktorantkę: niedoskonałość narzędzi do zindywidualizowanego kształtowania skaffoldów, brak jednoznacznych wytycznych dotyczących zakotwiczenia w tkance kostnej oraz brak spójnej metodyki projektowania i oceny skaffoldów łączącej analizę

numeryczną z walidacją doświadczalną. Celem badań było rozwiązanie wskazanych problemów poprzez zaproponowanie sposobu optymalizacji konstrukcji skaffoldu do uzyskania skutecznego połączenia z kością. Hipoteza badawcza zakłada, że kontrola przestrzennego rozkładu porowatości (10–60%) i geometrii porów (300–1500 μm) pozwala na lokalne dostosowanie sztywności do przewidywanych kierunków obciążenia, minimalizując ryzyko zniszczenia struktury i poprawiając sposób przenoszenia obciążenia przez implant na tkanki kostne. Hipoteza pomocnicza wskazuje, że kontrola wielkości i kształtu porów oraz porowatości umożliwi uzyskanie sztywności 15–20 GPa, odpowiadającej lokalnej sztywności ludzkiej kości korowej. Zadania badawcze podjęte przez Doktorantkę w trakcie realizacji pracy obejmowały:

- przeprowadzenie numerycznych badań podstawowych ukierunkowanych na ilościową ocenę wpływu porowatości oraz geometrii i wielkości porów na właściwości mechaniczne skaffoldów, w tym parametry wyjściowe wykorzystywane do dalszego projektowania (np. efektywny moduł Younga oraz 0,2% przesunięta (umowna) granica plastyczności);
- numeryczną ocenę skuteczności zastosowania skaffoldów w rekonstrukcji ciągłości kości długich z ubytkiem w modelu kość–implant, z odniesieniem do modelu referencyjnego (nienaruszonej kości udowej);
- porównawczą analizę metod zakotwiczenia skaffoldów w tkance kostnej oraz wybór wariantu mocowania zapewniającego najwyższą stabilność biomechaniczną połączenia kość–implant;
- opracowanie i implementację autorskiego algorytmu optymalizacji w środowisku ANSYS Mechanical APDL, umożliwiającego generowanie projektu skaffoldu (w tym wariantu o zróżnicowanej mikroarchitekturze) dla zadanego przypadku rekonstrukcji ubytku kości długiej;
- walidację numeryczno-eksperymentalną wybranych wariantów skaffoldów, obejmującą wytworzenie addytywne (PBF-LB, Ti6Al4V), digitalizację geometrii oraz pomiar odkształceń metodą DIC i porównanie wyników z predykcjami modeli numerycznych.

Ocena pracy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Anity Gryko liczy 250 stron. Zasadnicza część pracy obejmuje 218 stron treści właściwej, w ramach której przedstawiono 7 rozdziałów zilustrowanych 116 rysunkami oraz 18 tabelami. Doktorantka odwołuje się do 505 pozycji literaturowych. Struktura pracy jest kompletna i typowa dla dysertacji z obszaru inżynierii biomedycznej oraz mechaniki obliczeniowej.

Praca składa się z:

- strony tytułowej oraz elementów wstępnych (m.in. motto/cytat i podziękowania), a także spisu treści oraz wykazu skrótów, oznaczeń i symboli;
- rozdziału „Wstęp i motywacja”, w którym uzasadniono potrzebę badań i przedstawiono koncepcję pracy;
- rozdziałów 1–3 stanowiących przegląd stanu wiedzy (podstawy fizjologii kości i mechanoregulacja, metody leczenia ubytków, metody oraz parametry optymalizacji skaffoldów);
- rozdziału 4, w którym sformułowano problem badawczy, cel oraz hipotezy badawcze;
- rozdziału 5 obejmującego numeryczne badania podstawowe (wpływ porowatości i geometrii porów, ocena skuteczności skaffoldów w odbudowie ciągłości kości długich oraz analiza metod kotwiczenia);

- rozdziału 6 przedstawiającego autorski algorytm optymalizujący geometrię skaffoldu do zastosowania dla określonego przypadku ubytku kostnego, z wykorzystaniem środowiska ANSYS/APDL;
- rozdziału 7 zawierającego numeryczno-eksperymentalną walidację skaffoldu o optymalnej geometrii, w tym digitalizację geometrii kości, analizy numeryczne, przygotowanie modeli metodą druku przestrzennego oraz doświadczalną ocenę wytrzymałości;
- części końcowej obejmującej: podsumowanie i wnioski, plan dalszych badań, wykaz publikacji i udziału w konferencjach, wykaz literatury i innych źródeł, wykaz rysunków, tabel i równań, streszczenie, abstract oraz załączniki (wraz z wykazem załączników).

Część „Wstęp i motywacja” wprowadza w problematykę pracy, uzasadnia potrzebę badań oraz wskazuje kluczowy konflikt projektowy w skaffoldach ortopedycznych: konieczność pogodzenia wymagań biologicznych (osteointegracja, transport) z mechanicznymi (nośność, wytrzymałość). Doktorantka formułuje cel ogólny pracy jako opracowanie narzędzia (algorytmu) umożliwiającego dopasowanie geometrii skaffoldu do indywidualnego przypadku ubytku kostnego oraz prezentuje schemat podziału pracy i logikę etapów badań.

Rozdział 1 stanowi część przeglądową, w której Doktorantka omawia hierarchiczną budowę tkanki kostnej, podstawowe procesy przebudowy i naprawy kości oraz warunki biologiczne skutecznego gojenia. Istotną część rozdziału stanowi syntetyczne, ale merytoryczne zestawienie modeli mechanoregulacji (m.in. Wolff, Frost, Carter, Claes–Heigele, Prendergast–Huiskes) wraz ze wskazaniem charakterystycznych bodźców mechanicznych i progów różnicowania tkanek. W końcowej części podane są definicje i kontekst CSBD, z naciskiem na to, że dla defektów krytycznych klasyczne mechanizmy mechanoregulacji nie zapewniają regeneracji, co stanowi punkt wyjścia do dalszych rozważań aplikacyjnych.

Rozdział 2 porządkuje kliniczny i inżynierski kontekst leczenia CSBD. Doktorantka omawia najczęściej stosowane podejścia: przeszczepy autologiczne i alogeniczne, konstrukcje stabilizujące oraz kierunek rozwoju w postaci rozwiązań inżynierii tkankowej i skaffoldów. Zwrócono uwagę na ograniczenia metod klasycznych (m.in. zaburzenia przenoszenia obciążeń, efekt ekranowania naprężeń, problemy integracji i dopasowania), a także na rolę parametrów strukturalnych skaffoldów (porowatość, wielkość/rozmieszczenie porów) i biomateriałów w kontekście leczenia ubytków krytycznych.

Rozdział 3 stanowi przegląd metod optymalizacji struktur porowatych. Doktorantka definiuje optymalizację w ujęciu inżynierskim (funkcja celu, zmienne projektowe, ograniczenia) i odnosi to bezpośrednio do projektowania skaffoldów, gdzie wymagania mechaniczne, biologiczne i technologiczne są równie istotne. Przedstawiono typowe algorytmy i podejścia (w tym m.in. SIMP oraz metody oparte na uczeniu maszynowym i algorytmy genetyczne) wraz z omówieniem ich ograniczeń oraz praktycznych parametrów optymalizacji wykorzystywanych w literaturze. Rozdział dobrze przygotowuje grunt pod część autorską (algorytm), pokazując, jakie elementy procesu optymalizacji są krytyczne i gdzie występują luki.

W rozdziale 4 Doktorantka podsumowuje przegląd stanu wiedzy i wskazuje trzy zasadnicze trudności: niedoskonałość narzędzi do indywidualnego kształtowania skaffoldów, niejednoznaczność optymalnego zakotwiczenia w kości oraz brak pełnej, spójnej metodyki oceny numeryczno-doświadczalnej. Następnie przedstawia cel badań jako zaproponowanie sposobu optymalizacji konstrukcji skaffoldu prowadzącego do skutecznego połączenia z kością oraz porządkuje zakres prac w logice etapowej, która później znajduje odzwierciedlenie w rozdziałach badawczych.

Rozdział 5 obejmuje trzy spójne bloki analiz numerycznych. W pierwszym Doktorantka bada wpływ porowatości i geometrii oraz wielkości porów na parametry mechaniczne skaffoldów (w tym EYM i 0,2% OEYS), bazując na systematycznie zbudowanych modelach CAD (SolidWorks) i wariantach porowatości 10–60% oraz zdefiniowanych typach geometrii porów. W drugim bloku wykonuje analizy modelu kości (zdrowej i z ubytkiem) oraz wariantów rekonstrukcji, interpretując wyniki, uwzględniając rozkład naprężenia zredukowanego i SED. Trzeci blok dotyczy porównania metod kotwiczenia skaffoldów. Wyniki służą do wyznaczenia warunków mocowania o najwyższej stabilności biomechanicznej. Rozdział kończy się podsumowaniem, w którym Doktorantka wskazuje, że uzyskane parametry stanowią dane wejściowe do algorytmu (rozdz. 6) i walidacji (rozdz. 7).

Rozdział 6 przedstawia część autorską, to jest algorytm optymalizacji geometrii skaffoldu ukierunkowany na konkretny przypadek ubytku kostnego. Doktorantka opisuje strukturę algorytmu, przyjęte założenia oraz sposób implementacji, wskazując, że parametry wejściowe (geometria i mikroarchitektura oraz metoda kotwiczenia) pochodzą z badań rozdziału 5. Algorytm został zaimplementowany z użyciem APDL w środowisku ANSYS/Workbench i prowadzi do uzyskania zoptymalizowanej, heterogenicznej geometrii skaffoldu o zmiennych porach, dostosowanej do lokalnych warunków obciążenia, z jednoczesnym spełnieniem kryteriów wytrzymałościowych i „bodźca stymulującego”. W drugiej części rozdziału przedstawiono zastosowanie algorytmu do wygenerowania modeli skaffoldów dla wybranych przypadków ubytku.

Rozdział 7 zawiera etap walidacyjny, podzielony na część numeryczną i doświadczalną. Doktorantka opisuje digitalizację geometrii kości oraz przygotowanie modeli do wytwarzania addytywnego. Następnie przedstawia wytworzenie skaffoldów w technologii PBF-LB z proszku Ti6Al4V ELI i przygotowanie próbek po wydruku. Część eksperymentalna obejmuje badania na stanowisku z wykorzystaniem systemu wizyjnego ARAMIS oraz analizę odkształceń i przemieszczeń w wybranych odcinkach pomiarowych, a finalnie zestawienie wyników doświadczalnych z predykcjami numerycznymi.

Część końcowa pracy zawiera syntetyczne podsumowanie wyników, wnioski oraz plan dalszych badań, a także zestawienie dorobku (publikacje/konferencje) i elementy redakcyjne (wykazy, streszczenia, załączniki).

Na uwagę zasługuje czytelne wydzielenie etapów badań (w tym schemat przyjętego sposobu badań) oraz konsekwentne prowadzenie narracji: w każdym rozdziale badawczym przedstawiono genezę problemu, cel, metodykę, wyniki i wnioski, co ułatwia ocenę spójności logicznej oraz stopnia weryfikacji przyjętych założeń.

Wybór tematu i umiejscowienie tematyki badawczej

Tematyka dysertacji jest aktualna i właściwie umiejscowiona w dyscyplinie inżynierii biomedycznej. Doktorantka wskazuje, że w leczeniu krytycznych segmentowych ubytków kości długich (CSBD) istnieje potrzeba opracowania nowych, funkcjonalnych rozwiązań implantologicznych, które zapewniają jednocześnie właściwości mechaniczne i biologiczne oraz umożliwiają indywidualne dopasowanie do pacjenta. W pracy podkreślono również ograniczenia stosowanych rozwiązań stabilizujących, w tym m.in. zaburzenia przenoszenia obciążeń i efekt ekranowania naprężeń. Rozprawa odpowiada na te potrzeby poprzez spójne połączenie modelowania numerycznego, autorskiego podejścia optymalizacyjnego oraz weryfikacji numeryczno-doświadczalnej, co Doktorantka sama wiąże z kierunkiem rozwoju zautomatyzowanego i spersonalizowanego projektowania struktur dla inżynierii tkankowej.

Za szczególnie istotne należy uznać uwzględnienie w pracy zagadnień zakotwiczenia skaffoldu w tkance kostnej. Doktorantka wskazuje brak jednoznacznych wytycznych i wykonuje porównawczą analizę metod mocowania, opierając ocenę na wskaźnikach stabilności biomechanicznej oraz parametrach powiązanych z potencjałem gojenia/przebudowy kości (m.in. naprężenie zredukowane i gęstość energii odkształcenia sprężystego). Jednocześnie w części walidacyjnej analizowane warianty skaffoldów są rozpatrywane równolegle pod kątem wytrzymałości oraz wpływu na przebudowę i regenerację tkanki w obszarze implantacji, co stanowi istotny walor aplikacyjny pracy.

Tytuł pracy, a zakres pracy

Tytuł rozprawy „Numeryczno-eksperymentalna optymalizacja architektury skaffoldów do zastosowań ortopedycznych” jest adekwatny do treści i trafnie oddaje zarówno dominujące metody badawcze (modelowanie numeryczne, autorski algorytm optymalizacyjny), jak i komponent weryfikacyjny realizowany w ramach badań doświadczalnych, w tym etap przygotowania i wytwarzania addytywnego skaffoldów.

Zakres pracy jest szeroki i obejmuje: przegląd stanu wiedzy, badania numeryczne, implementację narzędzia optymalizacyjnego oraz etap walidacji numeryczno-doświadczalnej. Tytuł rozprawy akcentuje kluczową wartość pracy, jaką jest integracja projektowania obliczeniowego z weryfikacją eksperymentalną. Jednocześnie w rozprawie obecny jest aspekt personalizacji, nie tylko jako perspektywa rozwojowa, lecz także jako założenie funkcjonalne algorytmu (generowanie geometrii skaffoldu dla „danego przypadku” ubytku). Pełna walidacja w warunkach *in vivo* oraz przełożenie do praktyki klinicznej są natomiast jednoznacznie wskazywane jako kierunek dalszych badań.

Wykaz literatury i cytowania

Bibliografia obejmuje 505 pozycji, co należy uznać za bazę bardzo obszerną. Zestawienie obejmuje zarówno prace o charakterze fundamentalnym (w tym klasyczne koncepcje mechanoregulacji i przebudowy kości omawiane w części przeglądowej), jak i liczne publikacje dotyczące współczesnych zagadnień projektowania struktur porowatych, wytwarzania addytywnego oraz modelowania numerycznego. Wykaz zawiera wiele pozycji z lat 2020–2025 (w tym 2024–2025), co potwierdza aktualność przeglądu stanu wiedzy. Treść pracy jest zasadniczo poprawnie osadzona w literaturze przedmiotu. Część przeglądowa jest rzetelnie oparta na literaturze. Cytowania pojawiają się przy kluczowych pojęciach i modelach, a dobór źródeł obejmuje zarówno prace fundamentalne, jak i publikacje z ostatnich lat. W wykazie literatury występują miejscami drobne niespójności edytorskie, w szczególności w zakresie zapisu nazw czasopism, interpunkcji oraz formatowania pozycji bibliograficznych. Ponadto w wykazie literatury występują nieliczne pozycje problematyczne: część z nich nie jest cytowana w treści rozprawy, a część sprawia wrażenie merytorycznie słabo powiązanej z jej tematyką (np. 74-75 czy 176-178).

Redakcja pracy, język pracy, nazewnictwo (terminologia)

Rozprawa jest napisana poprawnym, technicznym językiem, adekwatnym do tematu. Zaletą jest rozbudowany wykaz skrótów, oznaczeń i symboli, co porządkuje terminologię w obszarze biomechaniki, materiałów implantowych i wytwarzania addytywnego. W pracy pojawiają się jednak drobne uchybienia redakcyjne, które nie wpływają na zrozumienie treści, na przykład:

1. Literówki i brak polskich znaków w pojedynczych słowach (np. „postepowania” zamiast „postępowania”).
2. Niekiedy różny zapis terminów anglojęzycznych (np. formy skrótów, nazwy modułów oprogramowania).

3. Brakuje doprecyzowania definicji kryteriów oceny (np. co jest rozumiane jako „skuteczność” w kontekście symulacji przebudowy kości: kryterium materiałowe, mechaniczne, czasowe).

Mocne strony pracy

Do mocnych stron dysertacji zaliczam przede wszystkim:

1. Kompleksowe połączenie analiz numerycznych, autorskiej procedury optymalizacyjnej oraz walidacji doświadczalnej w jednym, spójnym procesie badawczym.
2. Jasne sformułowanie problemu badawczego i hipotez wraz z ich weryfikacją w ramach analiz numerycznych oraz walidacji doświadczalnej.
3. Metodyczne przeprowadzenie badań podstawowych (porowatość, geometria porów, skuteczność rekonstrukcji, kotwiczenie) i wykorzystanie wyników jako danych wejściowych do algorytmu optymalizacyjnego.
4. Opisanie autorskiego algorytmu optymalizującego geometrię skaffoldu w przypadku ubytku kostnego, z implementacją w ANSYS Mechanical APDL i jasnym rozdzieleniem etapów postępowania.
5. Uwzględnienie w ocenie zarówno wskaźników mechanicznych (naprężenia, odkształcenia, SED), jak i modelu przebudowy tkanki kostnej zastosowanego w części walidacyjnej.

Uwagi merytoryczne i pytania do Doktorantki

Analiza przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej pozwoliła zidentyfikować kwestie wymagające doprecyzowania oraz ograniczenia przedstawionego podejścia. Poniżej przedstawiam uwagi merytoryczne oraz pytania do Doktorantki.

Uwagi merytoryczne:

1. Hipoteza pomocnicza zakłada docelową sztywność skaffoldu w zakresie 15–20 GPa. W pracy zastosowano niejednorodne podejście do modelowania własności kości: w części analiz (rozdz. 5–6) przyjęto kość jako ośrodek izotropowy i jednorodny, natomiast w części walidacyjnej (rozdz. 7) zastosowano model ortotropowy. Taka zmiana założeń materiałowych może wpływać na wynik optymalizacji oraz wnioski dotyczące dopasowania sztywności.
2. W pracy zdefiniowano założenia kontaktowe na styku kość–skaffold (m.in. kontakt tarcowy z przyjętym współczynnikiem tarcia $\mu = 0,3$ dla wybranych interakcji). Przyjęty model kontaktu (oraz wartość μ) stanowi istotny element determinujący przenoszenie obciążenia i warunki na styku kość–implant, a tym samym może wpływać na wartości wskaźników takich jak przemieszczenia styczne, naprężenia styczne oraz szczelina kość–skaffold.
3. W części walidacyjnej zastosowano model przebudowy tkanki kostnej jako rozszerzenie oceny funkcjonalnej. Parametry modelu (progi, „martwa strefa”, stałe B–s–K) zostały zdefiniowane, jednak ich dobór oraz potencjalna wrażliwość wyników na przyjęte wartości mają istotne znaczenie dla interpretacji wyników symulacji przebudowy.
4. Autorski algorytm optymalizacyjny ma charakter iteracyjny, a jako warunek przejścia wskazano osiągnięcie stabilności (brak zmian w przylegających elementach). W pracy nie jest jednoznacznie przedstawiony koszt obliczeniowy algorytmu dla typowego przypadku ani sposób uwzględnienia ograniczeń technologii wytwarzania addytywnego w samej procedurze optymalizacji (np. kwestie podpór, dokładności odwzorowania oraz drożności struktur z punktu widzenia usuwania proszku).

Pytania do Doktorantki:

1. Jakie były przesłanki wyboru przedziału średnic porów (300–1500 μm) oraz porowatości (10–60%) w analizach? Czy rozważano inne zakresy i jak wyglądała wstępna analiza wrażliwości?
2. Jakie kryteria decydowały o wyborze rozwiązania w kolejnych etapach algorytmu (np. próg naprężenia zredukowanego 20 MPa oraz próg odkształcenia 5%) i jak te kryteria przekładają się na końcowy „ranking” wariantów skaffoldów?
3. W jaki sposób w modelach numerycznych odwzorowano warunki brzegowe zakotwiczenia skaffoldu w kości i jak uwzględniono potencjalne mikroruchy na styku implantu?
4. Czy i w jaki sposób algorytm optymalizacyjny uwzględnia ograniczenia procesu LPBF/SLM związane z minimalnym rozmiarem cech, podporami oraz usuwaniem proszku z wnętrza struktur?
5. W części doświadczalnej (i w jednym z wariantów obciążeniowych) zastosowano uśrednione wartości sił odpowiadające dwóm kluczowym momentom cyklu chodu (heel strike i toe off). Na ile takie uproszczenie może wpływać na porównanie wariantów skaffoldów oraz na wnioski dotyczące ich zachowania w warunkach obciążeń zmiennych w czasie?
6. Jak należy interpretować dobrą zgodność wyników numerycznych i doświadczalnych w sytuacji ograniczonej liczby próbek?
7. W pracy porównano wyniki badań numerycznych i doświadczalnych, uzyskując dobrą zgodność. Czy w modelach numerycznych uwzględniono specyfikę wytwarzania addytywnego (np. anizotropia własności, chropowatość, odchyłki geometryczne), czy użyto parametrów materiałowych odpowiadających materiałowi wyjściowemu?

Osiągnięcia Doktorantki

W końcowej części dysertacji Doktorantka przedstawiła wykaz publikacji oraz udział w konferencjach. Na szczególną uwagę zasługują publikacje bezpośrednio powiązane z tematyką rozprawy, obejmujące cztery artykuły opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych ze współczynnikiem impact factor, w których mgr inż. Anita Gryko jest pierwszą autorką; współautorem wszystkich tych prac jest dr inż. Piotr Prochor. Tematyka publikacji koresponduje z głównymi osiami pracy: wpływ porowatości i geometrii porów, porównawcza analiza metod mocowania oraz numeryczna ocena skaffoldów jako metody przywrócenia ciągłości kości długich.

Doktorantka wykazała również aktywność konferencyjną, obejmującą wystąpienia i prezentacje na konferencjach krajowych i międzynarodowych powiązane bezpośrednio z rozprawą. W zestawieniu podano także wskaźniki bibliometryczne (stan na 05.11.2025): sumaryczny IF = 14,748, H-index = 3, punktacja MNI SW = 610 pkt oraz cytowania wg WoS = 38.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Mgr inż. Anita Gryko przedstawiła do oceny rozprawę doktorską, która, w mojej opinii, prezentuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z pogranicza inżynierii biomedycznej i mechaniki obliczeniowej i dotyczy integracji analizy numerycznej, projektowania optymalizacyjnego oraz weryfikacji doświadczalnej dla struktur rusztowań do rekonstrukcji ubytków kostnych.

Praca obejmuje pełny zakres pracy naukowej: przegląd stanu wiedzy i identyfikację luk badawczych, sformułowanie problemu oraz hipotez badawczych, przedstawienie metodyki, wyników oraz wniosków wraz z ich interpretacją. Oceniam, że postawiony cel pracy został osiągnięty, a przyjęte hipotezy zostały w pracy uzasadnione. Doktorantka wykazała się zarówno znajomością zagadnień biomechaniki kości, jak i umiejętnościami w zakresie modelowania numerycznego, optymalizacji konstrukcyjnej oraz przygotowania i realizacji badań walidacyjnych.

Rozprawa zawiera uchybienia redakcyjne oraz ograniczenia metodyczne typowe dla złożonych badań, w szczególności dotyczące zakresu walidacji eksperymentalnej, jednak większość uwag ma charakter dyskusyjny i może zostać wyjaśniona przez Doktorantkę podczas publicznej obrony. Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe, wnioskuję także o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Anity Gryko pt.: „Numeryczno-eksperymentalna optymalizacja architektury skaffoldów do zastosowań ortopedycznych” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Magdalena Kobielarz